

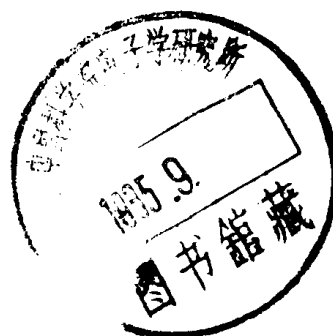
73-11
158

电路理论基础及应用

〔美〕A. 布达克 著

童宁荪 译

44/2



科学出版社

1985

8510481

内 容 简 介

本书是作者为美国工科院校大学生编写的一本基础理论教材。全书共分十一章，主要内容有：电路理论的基本关系、电阻性网络、常用的网络定理、功率和能量、网孔和节点分析、拉氏变换及其应用、自然响应和强迫响应、一阶和二阶系统的阶跃响应、正弦稳态分析、转移函数和零极点、滤波器、变压器、耦合电路、器件模拟与偏置、从属电源等。

本书的特点是：内容新颖，概念清晰，叙述简明扼要，例题丰富。书中着重介绍了拉氏变换及其应用，揭示了时域分析法和频域分析法的内在联系，阐明了频域分析法的时域本质，从而将两种孤立方法统一起来。除常用的网络定理外，书中还用较大的篇幅阐述了阶跃响应、转移函数、零极点和滤波器等内容。本书可供大专院校有关专业的师生、电类和非电类科技人员阅读。

Aram Budak

CIRCUIT THEORY FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

Prentice-Hall, Inc., 1978

电路理论基础及应用

〔美〕A. 布达克 著

童宁荪 译

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年5月第一版 开本：787×1092 1/16
1985年5月第一次印刷 印张：31 1/2
印数：0001—14,000 字数：728,000

统一书号：15031·649

本社书号：4022·15—7

定价：7.30 元

目 录

译者的话

前言

第一章 电路理论的基本关系	1
1-1 电压和电流	1
1-2 基尔霍夫定律	4
1-3 二端元件的表征	14
1-4 电压源	15
1-5 电流源	16
1-6 电阻器和欧姆定律	17
1-7 电容器	21
1-8 电感器	24
1-9 其它元件	26
1-10 线性电路	27
1-11 开路和短路	28
1-12 小结	29
第二章 电阻性网络	33
2-1 等效性;串联和并联	33
2-2 电阻器的串联、并联和串-并联	34
2-3 电源的串联和并联	37
2-4 非理想电源	39
2-5 电源变换	42
2-6 $i-v$ 曲线的实验演示	43
2-7 激励-响应;输入-输出	44
2-8 分压和分流规则	44
2-9 建立参考点:地	46
2-10 毫、微、千和兆的表示法	49
2-11 一个简单电流源的构成	49
2-12 衰减器	51
2-13 连续可调衰减器	53
2-14 安培表分流器和伏特表倍增器	54
2-15 简单的电阻测量法	60
2-16 桥式网络	61
2-17 桥式网络的其它应用	63
2-18 小结	67
第三章 常用的网络定理,功率和能量	83
3-1 迭加原理	83
3-2 信号相加	85

• • •

3-3	信号相减	87
3-4	电平移动	88
3-5	戴维南和诺顿等效电路	89
3-6	功率和能量	98
3-7	电阻器中功率与能量的关系	100
3-8	最大功率传输	102
3-9	电容器中功率与能量的关系	103
3-10	电感器中功率与能量的关系	106
3-11	小结	108
第四章	网孔和节点方程	116
4-1	网孔方程	116
4-2	节点方程	127
4-3	混合电源	136
4-4	网孔方程还是节点方程?	139
4-5	重述	140
4-6	小结	142
第五章	用拉氏变换法解网络问题	149
5-1	拉氏变换	149
5-2	运算规则	152
5-3	微分方程的拉氏变换	153
5-4	基尔霍夫定律和元件特性方程的拉氏变换	154
5-5	网络方程的拉氏变换	156
5-6	阻抗和导纳	160
5-7	阻抗的串联和并联	162
5-8	电源变换	165
5-9	分压和分流规则	167
5-10	迭加原理	168
5-11	戴维南和诺顿等效电路	171
5-12	转移函数	174
5-13	频域的各种解法	177
5-14	响应的性质	184
5-15	极点	185
5-16	拉氏反变换——部分分式展开	186
5-17	小结	193
第六章	自然和强迫响应,阶跃响应	201
6-1	响应的自然分量和强迫分量	201
6-2	极点位置与响应之间的关系	204
6-3	网络的阶跃响应	206
6-4	一阶系统阶跃响应的计算	208
6-5	一阶系统阶跃响应曲线的描绘	209
6-6	由视察网络确定 τ 、 I 和 F	212
6-7	一阶网络阶跃响应的例题	215
6-8	由初始条件产生的高电压和电流冲击	222

6-9	一阶系统的脉冲激励	225
6-10	方波激励	229
6-11	小结	233
第七章	二阶系统的阶跃响应	239
7-1	二阶系统阶跃响应的表征	239
7-2	极点在负实轴上时的阶跃响应	241
7-3	$T_0 = \frac{a_0}{(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)}$ 时的阶跃响应	242
7-4	$T_1 = \frac{a_1 s}{(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)}$ 时的阶跃响应	251
7-5	$T_2 = \frac{a_2 s^2}{(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)}$ 时的阶跃响应	257
7-6	$T = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)}$ 时的阶跃响应	260
7-7	具有复共轭极点的阶跃响应	267
7-8	$T_0 = \frac{\alpha^2 + \beta^2}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$ 时的阶跃响应	268
7-9	$T_1 = \frac{2\alpha s}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$ 时的阶跃响应	273
7-10	$T_2 = \frac{s^2}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$ 时的阶跃响应	276
7-11	$T = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$ 时的阶跃响应	279
7-12	由初始条件引起的响应	281
7-13	二阶系统的脉冲响应	286
7-14	二阶系统的方波响应	288
7-15	小结	290
第八章	正弦响应	300
8-1	正弦波	300
8-2	正弦响应	301
8-3	正弦稳态响应	308
8-4	相量	311
8-5	电压和电流相量	315
8-6	相位滞后和超前	323
8-7	由小信号输入引起的大电流和电压	329
8-8	交流电路中的功率关系	331
8-9	用 $R(\omega)$ 和 $G(\omega)$ 表示的功率	337
8-10	最大功率传输	340
8-11	方均根值	344
8-12	小结	347
第九章	用一阶和二阶 RLC 网络滤波	357
9-1	滤波器的输入-输出关系	357
9-2	低通滤波器	359
9-3	高通滤波器	365

9-4 带通滤波器	372
9-5 带阻滤波器	378
9-6 具有低频提升或者衰减的滤波器	381
9-7 滤波器引起的失真	382
9-8 相位校正	384
9-9 小结	387
第十章 变压器	394
10-1 互感耦合电路	394
10-2 互感耦合线圈的串联和并联	398
10-3 等效电路	400
10-4 紧耦合变压器	402
10-5 $k = 1$ 时的阻抗变换	408
10-6 变压器中的功率关系	412
10-7 自耦变压器	414
10-8 变压器的阶跃响应	417
10-9 变压器的正弦稳态响应	420
10-10 松耦合变压器	422
10-11 小结	424
第十一章 从属电源: 模拟、偏置和增益计算	431
11-1 从属电源	431
11-2 戴维南和诺顿等效电路	435
11-3 三端器件: 模拟、偏置和确定增益	441
11-4 小结	453
附录 1: 行列式	458
附录 2: 复数运算	460
单数习题答案	467
索引	489

第一章 电路理论的基本关系

变量和方程表征系统中的各种关系.如果用变量表征一个实际的物理系统,就必须测量它们的数值.因此,使用仪表进行测量同时说明它们怎样接入电路是十分必要的.如果通过数学的方法可以确定仪表的读数,那末理论上可以进一步加以概括,并且使得实验结果的应用范围扩大.电路理论就是这样通过电压和电流的测量而发展起来的.本章中我们将要阐明,几种简单的测量方法可以作为建立电路理论中一些基本关系式的基础,这些基本关系式是与电路元件及其相互连接有关的.

1-1 电压和电流

两个变量 $v(t)$ 和 $i(t)$ 可以表征电路中的各种关系.它们都是时间的函数,因而在数值上是瞬变的. $v(t)$ 变量(或简写为 v) 称为电压变量, $i(t)$ 变量(或简写为 i) 称为电流变量.这些变量也可以是恒定的.

伏特表是测量 $v(t)$ 变量的仪表.测量 $i(t)$ 变量的仪表叫做安培表.因为使用它们测得的数据以及由此而获得的知识可以作为电路理论的基础,所以有必要了解怎样合理地使用这些仪表.

图 1-1(a) 表示一个伏特表.它有两根引线,其中一根标有正号.不言而喻,另一根没有标记的引线是负引线.前者可以不标出正号而采用红色,或者就把它接在伏特表本身的红端钮上.将它同另一根黑色的或者接在伏特表黑端钮上的负引线加以区别是很重要的.我们只需要用某种方式标示其中的一根引线.圆圈中的字母 V 表示伏特表.

图 1-1(b) 表示一个安培表,其端钮的标记同伏特表一样.它的一根引线为正,或者是红色的.另一根引线为负,或者是黑色的.后者在图中没有标记.圆圈中的字母 A 表示安培表.



图 1-1

最简单的电气元件是二端器件.它们可以用一个简单的电压-电流关系式表征.电阻器、电容器、电感器和电源就是这类电气元件的实例.这些元件通过导线连接在一起就构成了电路或者网络.一般地说,电路这个术语用于描述电气元件的简单连接.另一方面,网络可以包含许多电路.图 1-2(a) 中表示了一个由元件 1 和 2 组成的电路以及网络 N.我们将电压变量和电流变量同每个二端元件或者网络联系起来.例如,将变量 v_1 和

i_2 同元件 2 关联。对于网络 N 我们有 v_N 和 i_N 等等。

电压取为跨接变量。所以我们总是把伏特表接在元件两端或者网络两点之间测量电压。例如,图 1-2(b) 中表示了用伏特表测量元件 2 两端 (e 和 f 之间) 电压的接法。伏特表的读数和变量 v_2 有关, v_2 用正和负号表示在元件 2 的两旁。注意, v_2 变量的正号是和伏特表的正端钮相一致的。如果伏特表的读数为正,那末根据定义,变量 v_2 的数值就是正的。如果伏特表的读数为负, v_2 的数值就是负的。例如,伏特表的读数是 $+5$, 那末元

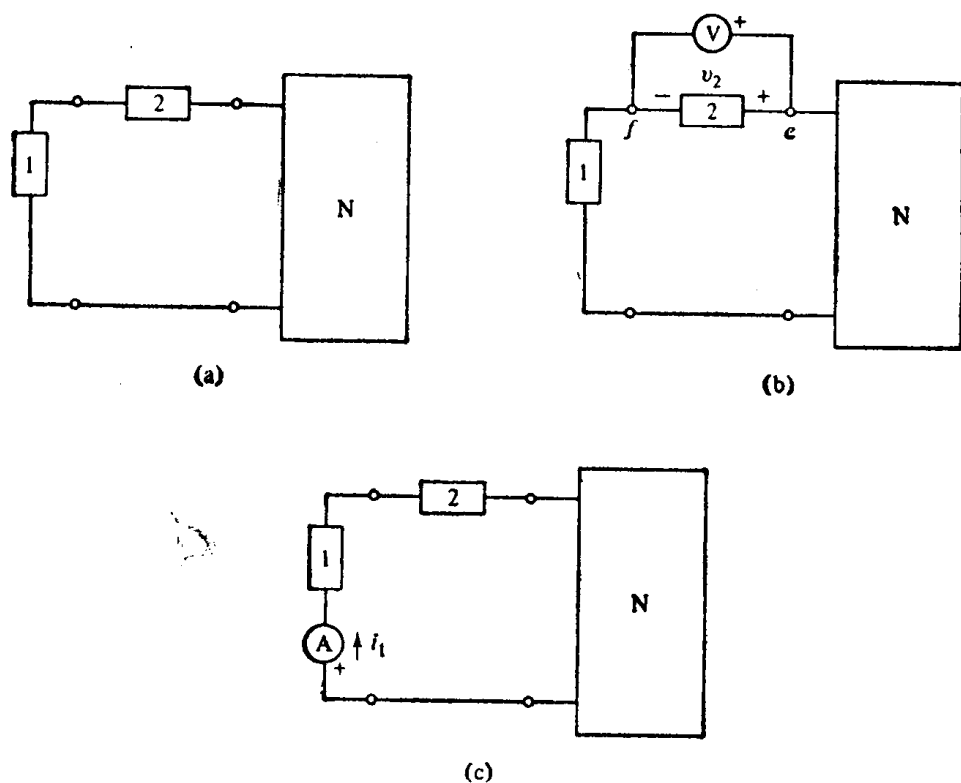


图 1-2

件 2 两端的电压 $v_2 = +5$ 。另一方面,如果伏特表的读数是 -10 ,那末 $v_2 = -10$ 。换句话说,变量 v_2 可以是正值也可以是负值,这取决于伏特表读数的符号。了解这一点很重要:伏特表的读数和变量数值之间这种一一对应的关系是基于图示指定的连接方式的。即伏特表的正端和变量的正号都是对于元件 2 的同一点而言的。如果伏特表和变量的极性符号不一致—— v_2 的左边标为正而右边标为负的话——那末变量的数值就是伏特表的负读数。于是正的读数对应着一个负的电电压。电路中,电压变量是按正到负还是负到正的顺序来标记,那是没有意义的。通常可以任意指定。

为了强调起见,我们重申:我们总是在一个元件的两端或者电路的两点之间测量电压。说某一点的电压而不指出另一点的位置那是毫无意义的。

电压的单位是伏特,缩写为 V 。

电流取为通过变量,所以我们在电路中串入安培表来测量它。为了测量图 1-2(a) 中通过元件 1 的电流,我们断开和它相连的一根导线,接入安培表,如图 1-2(c) 所示。于是安培表的读数就同图中标出的电流变量 i_1 有关。注意, i_1 的箭头从安培表的正端钮指向另一个端钮。在这种连接方式下,按照定义,如果安培表的读数是正的,那末变量 i_1 就

为正值。负的读数意味着 i_1 取为负值。然而,如果将 i_1 的箭头倒过来,不改变安培表的连接,那末电流变量的数值就是安培表的负读数。另一种说法是,当安培表的标记与电流箭头的标记一致时,如图 1-2(c) 所示,安培表的读数就是电流变量的数值。如果它们的极性不是图中所示那样,那末安培表的读数和电流变量的数值就有一个负号的差别。同样,电流变量是用箭头还是其它的方式来标记那是无关紧要的。通常可以任意选择。

我们说电流是指通过一个元件的电流或者导线中的电流。电流的单位是安培,缩写为 A。

电路中假定电压和电流变量,如图 1-3 所示。正号和负号总是同电压变量有关(这些符号清楚地表明它们所属变量的位置),而箭头总是和电流变量有关。电压 v_1 在 a 点和 b 点之间,或者说是网络 N_1 端钮引线间的电压。为了确定 v_1 , 我们在 a 点和 b 点之间接入一个伏特表,它的正引线接 a 点。电压 v_2 在 c 点和 d 点之间,或者说是网络 N_2 上端钮之间的电压。为了确定 v_2 , 伏特表的正引线接 c 点,而另一根引线接 d 点。电流 i_1 表示通过标有 e 点的导线电流。为了测量 i_1 , 必须在 e 点处断开导线,串入一个安培表,其正端钮在左边。同样,为了测量 i_2 , 我们将引线在 f 点处断开,串入右边接正引线的安培表。

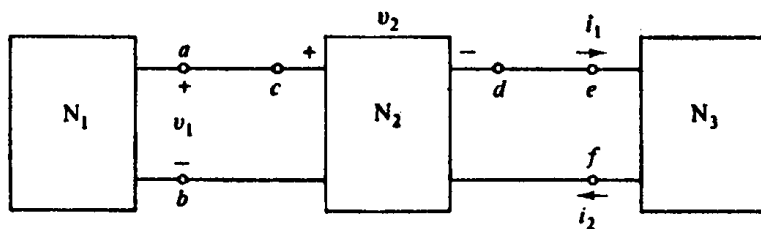


图 1-3

例 1-1 图 1-4(a) 的网络中,我们要确定变量 v_1 和 i_2 的数值。伏特表和安培表的读数如图 1-4(b) 所示。问 v_1 的数值是多少? i_2 的数值是多少?(为了表示仪表指针的偏转值,这里不用伏特表和安培表的标准符号。)

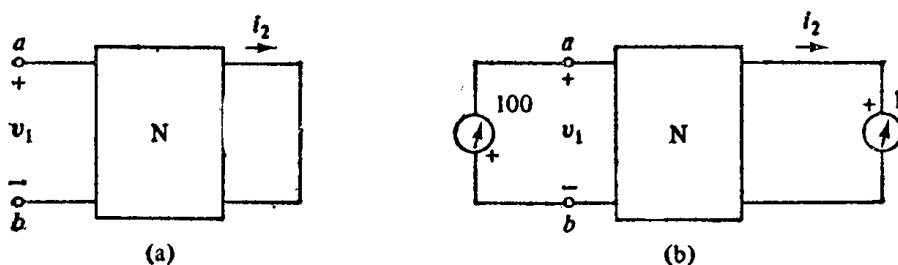


图 1-4

解: 伏特表的偏转指数为 100。(如果伏特表有数字读数,会显示 +100。)变量 v_1 和伏特表的极性符号相反。因此,

$$v_1 = -100\text{V} \quad \text{答}$$

电流 i_2 流进安培表的正端钮,所以安培表的读数表示 i_2 变量的数值。即

$$i_2 = 1\text{A} \quad \text{答}$$

例 1-2 (a) 图 1-5 中, $v_1 = 20\text{V}$ 。问 v_2 是多少?

(b) 如果 $i = -2\text{A}$, 为了得到 $+2\text{A}$ 的读数, 问安培表应如何连接?

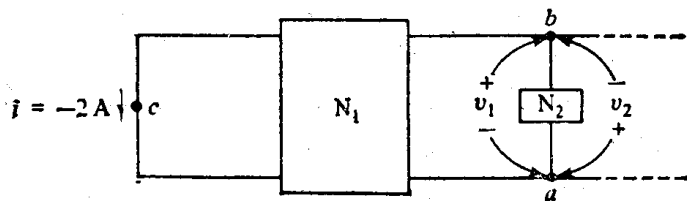


图 1-5

解: (a) v_1 和 v_2 都是在同样 a, b 两点之间测量的. 测量 v_2 时要求伏特表的正端接 a 点, 而 v_1 是用伏特表的正端接 b 点测得的. 因此

$$v_2 = -v_1 = -20\text{V} \quad \text{答}$$

(b) 在 c 点处断开导线, 串入下端钮为正的安培表.

例 1-3 图 1-6 中安培表的读数随着时间变化, 如图所示. 求 $t = 5, 10$ 和 15s 时 i 的数值.

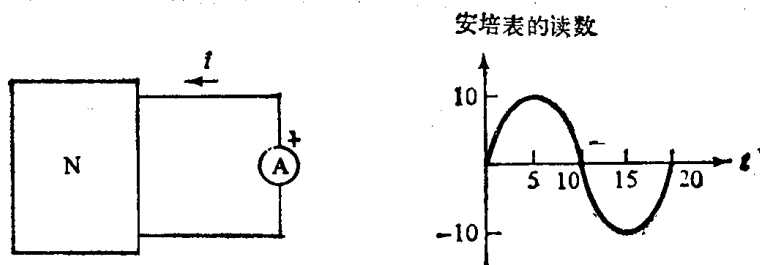


图 1-6

解: 变量 i 的箭头离开安培表的正端钮, 所以变量 i 的数值是安培表的负读数.

$$\text{当 } \begin{cases} t = 5, & i = -10\text{A} \\ t = 10, & i = 0 \\ t = 15, & i = 10\text{A} \end{cases} \quad \text{答}$$

例 1-4 (a) 图 1-7 中 i_2 与 i_1 的关系如何?

(b) 若 $i_1 = -6\text{A}$, 问 i_2 是多少?

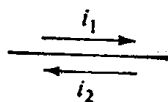


图 1-7

解: (a) i_1 和 i_2 是按相反的方向测得的. 因此

$$i_2 = -i_1 \quad \text{答}$$

(b) $i_2 = -(-6) = 6\text{A} \quad \text{答}$

1-2 基尔霍夫定律

电流定律 (KCL)

电路中, 节点是两根或者两根以上导线的交接处. 如果用安培表来测量实际网络中

各个节点处的电流分布,我们很快就会发现这个电流分配定律. 例如,研究图 1-8(a) 中表示为一个圆点的节点. 这个节点接有三根导线,因此有三个电流和它关联. 假定三个电流变量都指向此节点,我们把它记为 i_1 、 i_2 和 i_3 . 见图 1-8(a). 为了测量这些电流,接入三个电流表,如图 1-8(b) 所示. 注意,三个电流表的负端钮都面对该节点,所以安培表的读数就是变量的数值. 我们在得出电流表的读数时发现

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (1-1a)$$

换句话说,三个电流表的读数之和为零,或者说指向该节点的电流变量之和为零. 当然这意味着它们的数值符号不都相同. 例如,若 i_1 和 i_2 为正,那末 i_3 就一定是负的,以满足方程式 (1-1a).

然后我们假定三个电流变量都离开该节点,如图 1-8(c) 所示. 相应地,为了测得 i'_1 、 i'_2 和 i'_3 的数值,接入电流表,如图 1-8(d) 所示. 注意,三个电流表的正端钮都面对此节点. 电流表的读数再次证明

$$i'_1 + i'_2 + i'_3 = 0 \quad (1-1b)$$

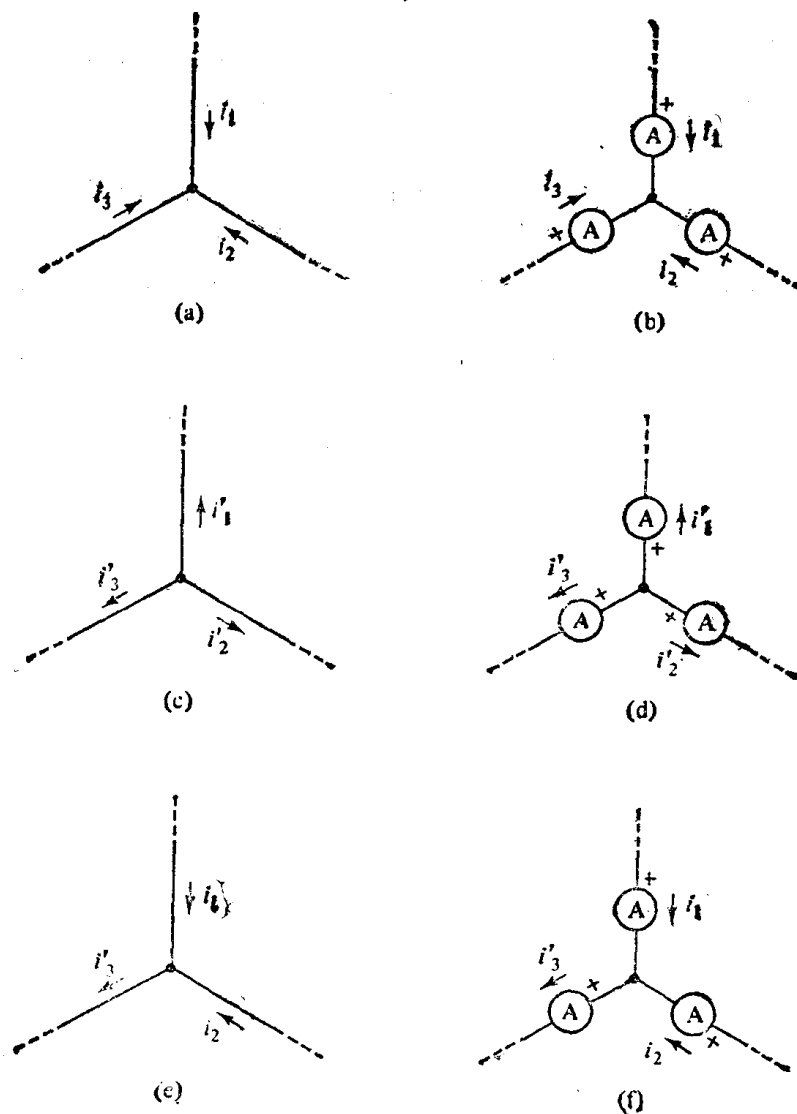


图 1-8

于是我们说,离开节点的电流变量之和为零。事实上,如果看出

$$i_1 = -i'_1, i_2 = -i'_2, i_3 = -i'_3$$

我们就可以直接根据式 (1-1a) 得到式 (1-1b) 如下。

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 + i_3 &= (-i'_1) + (-i'_2) + (-i'_3) \\ &= -(i'_1 + i'_2 + i'_3) \\ &= 0 \end{aligned}$$

最后,假定两个电流变量指向节点而一个电流变量离开该节点,如图 1-8(e) 所示。将图 1-8(f) 中电流表的读数整理后,我们发现

$$i_1 + i_2 = i'_3 \text{ 或者 } i_1 + i_2 - i'_3 = 0 \quad (1-1c)$$

因此我们说,流入节点的两个电流之和等于流出该节点的电流,或者说同一方向的电流之和减去反方向的电流等于零。我们还可以通过看出 $i_3 = -i'_3$ 而直接从式 (1-1a) 中得到式 (1-1c)。我们写出

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 + i_3 &= i_1 + i_2 + (-i'_3) = 0 \\ i_1 + i_2 &= i'_3 \end{aligned}$$

另外,从式 (1-1b) 着手,利用 $i'_1 = -i_1$ 和 $i'_2 = -i_2$, 可以得到式 (1-1c) 如下。

$$\begin{aligned} i'_1 + i'_2 + i'_3 &= (-i_1) + (-i_2) + i'_3 = 0 \\ i_1 + i_2 &= i'_3 \end{aligned}$$

德国物理学家基尔霍夫最先观察到了这个在电路节点处的电流基本特性。这个支配电路所有节点电流的定律就称为基尔霍夫电流定律。它可以用三种形式表述,取决于如何假定节点处的电流变量。讨论图 1-9 中 n 根导线构成节点 p 的一般情况。

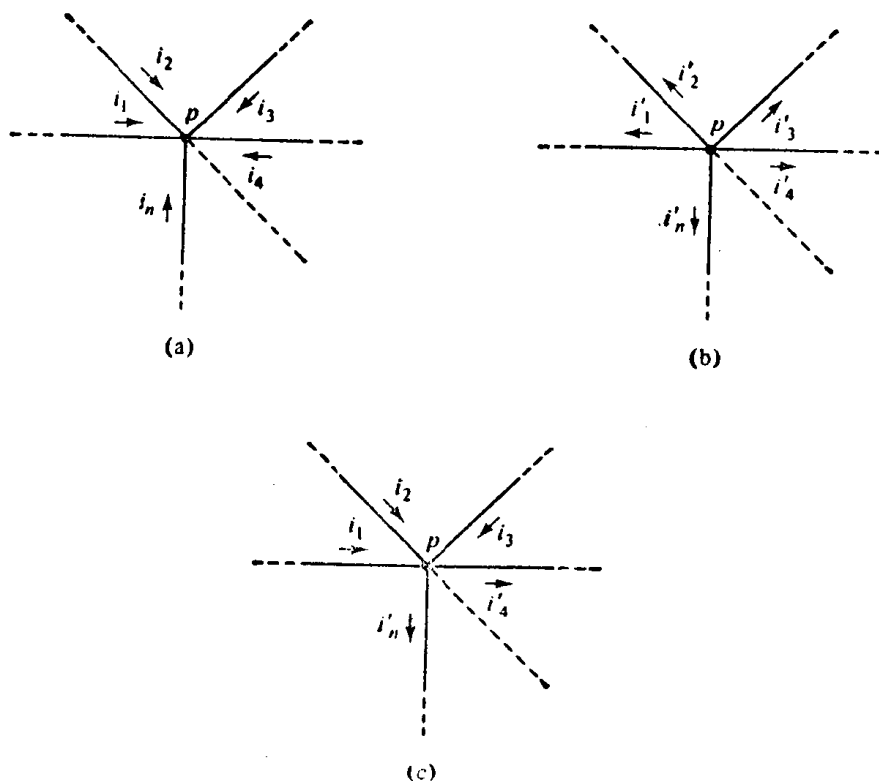


图 1-9

1. 若 n 个电流都指向节点 p , 如图 1-9(a) 所示, 则基尔霍夫电流定律 (KCL) 叙述为

所有进入节点的电流之和 = 0

数学上表示为

$$\sum_{i=1}^n i_i = 0 \quad (1-2a)$$

2. 若 n 个电流都离开节点 p , 如图 1-9(b) 所示, 则基尔霍夫电流定律 (KCL) 叙述为

所有流出节点的电流之和 = 0

$$\sum_{i=1}^n i_i = 0 \quad (1-2b)$$

3. 若一些电流指向节点 p 而其余的电流离开节点 p , 如图 1-9(c) 所示, 则基尔霍夫电流定律 (KCL) 叙述为

流入节点的电流之和 = 流出节点的电流之和

$$\sum_{i=1}^k i_i = \sum_{k+1}^n i_i \quad (1-2c)$$

式 (1-2c) 中, k 个电流指向节点而 $(n-k)$ 个电流离开节点. 另外, 式 (1-2c) 可以写成

$$\sum_{i=1}^k i_i - \sum_{k+1}^n i_i = 0$$

这就是说, 同一方向的电流之和减去另一方向的电流之和等于零.

因为 $i_i = -i_j$, 所以式 (1-2) 所给出的基尔霍夫电流定律的三种形式都是等效的. 应该强调指出, KCL 适用于电路中所有节点和所有时刻. 进入节点和离开节点的电流在数值上可以随着时间的推移而改变, 但是进入节点的电流之和总是等于离开节点的电流之和.

例 1-5 图 1-10 中 i 是多少?

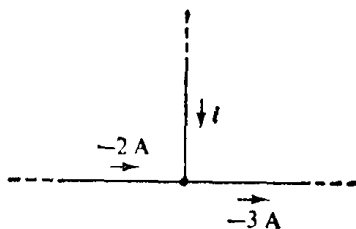


图 1-10

解: 三个电流与此节点相关. 两个电流是已知的, 而另一个待求. 注意,

进入节点的电流: $-2, i$

离开节点的电流: -3

现在我们用三种方法求出电流 i .

1. 因为流入节点的电流是流出节点的电流的负值(把安培表倒过来连接, 其读数也就反号), 所以我们可以把所有电流都表示为流进节点的电流: $-2, i, 3$. 于是根据 KCL

有

$$\sum_{i=1}^3 i_i = 0$$

$$(-2) + i + 3 = 0$$

$$i = -1\text{A} \quad \text{答}$$

2. 因为流出节点的电流是流入节点的电流的负值, 所以我们可以把所有电流都表示为流出节点的电流: 2, $-i$, -3 . 根据 KCL 有

$$\sum_{i=1}^3 i'_i = 0$$

$$2 + (-i) + (-3) = 0$$

$$i = -1\text{A} \quad \text{答}$$

3. 我们令流入节点的电流之和等于流出节点的电流, 得到

$$(-2) + i = -3$$

$$i = -1\text{A} \quad \text{答}$$

例 1-6 图 1-11 中, i 是多少?

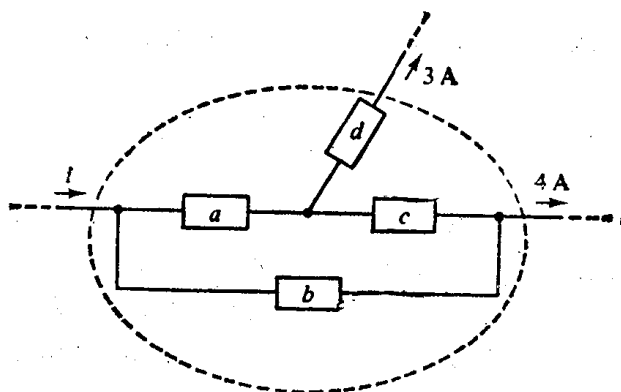


图 1-11

解: 用一个封闭面包围元件 a , b , c 和 d , 构成超节点. 也就是说, 把它们装进一个袋子并且穿入三根引线. 对此超节点(封闭面)应用 KCL: 流入的电流 = 流出的电流, 得到

$$i = 3 + 4 = 7\text{A} \quad \text{答}$$

电压定律 (KVL)

电路中, 回路是一个包含电路元件的闭合路径. 用一个电压表沿着回路测量各个电压, 很快就会证实这个支配电压的定律. 例如, 研究图 1-12(a) 中用顺时针方向箭头表示的回路. 回路中有三个元件因此有三个电压与这个回路关联. 我们把三个电压变量记为 v_1 , v_2 和 v_3 , 并且假定它们的极性取向相同: 都是按顺时针方向由正到负. 见图 1-12(a). 为了测量这些电压, 接入三个伏特表, 如图 1-12(b) 所示. 注意, 伏特表的极性符号是和变量所假定的正号和负号一致的. 因此变量的数值就是伏特表的读数. 我们在得到伏特表的读数时发现

$$v_1 + v_2 + v_3 = 0$$

(1-3a)

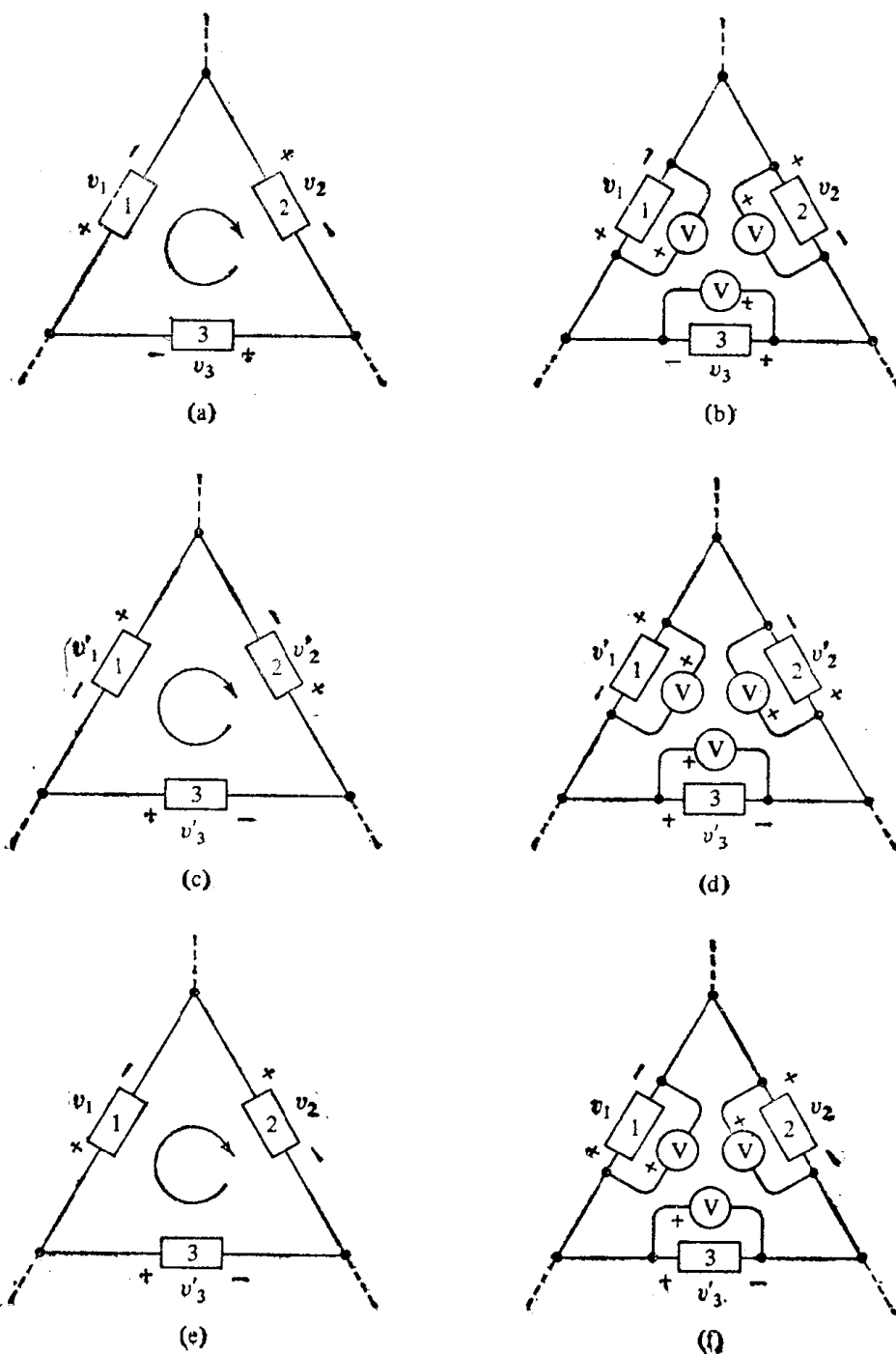


图 1-12

这样,沿着回路绕行方向由正到负的各电压之和为零。换句话说,这些变量的数值符号不都相同——其中有一个反号。

图 1-12(c) 中,我们沿着回路的顺时针绕行方向,由负到正标记所有的电压。为了测量电压 v'_1 , v'_2 和 v'_3 , 接入伏特表,如图 1-12(d) 所示。注意,伏特表的读数就是变量的数值。我们发现

$$v'_1 + v'_2 + v'_3 = 0$$

(1-3b)

于是,沿着回路绕行方向由负到正的各电压之和为零。有了式 (1-3a), 通过看出 $v'_1 = -v_1$, $v'_2 = -v_2$, $v'_3 = -v_3$, 可以得到式 (1-3b)。

图 1-12(e) 中,沿着回路的顺时针绕行方向,假定 v_1 和 v_2 由正到负,而 v'_3 由负到正。如图 1-12(f) 所示接入伏特表,测量各电压变量的数值(不是负值)。其结果是

$$v_1 + v_2 = v'_3$$

或者

$$(v_1 + v_2) - v'_3 = 0 \quad (1-3c)$$

这表明,沿着回路绕行方向由正到负的各电压之和等于由负到正的电压,或者相同方向各电压之和减去另一方向的电压等于零。由 $v'_3 = -v_3$ 看出,式 (1-3c) 可以化为式 (1-3a)。另外,利用 $v_1 = -v'_1$ 和 $v_2 = -v'_2$, 可使式 (1-3c) 变为式 (1-3b)。

基尔霍夫还观察到了回路电压的这种基本特性,这个支配电路中所有回路电压的定律称为基尔霍夫电压定律 (KVL)。它可以用三种不同的形式表述,取决于如何假定回路的电压变量。研究图 1-13 所示由 n 个元件构成回路 q 的一般情况:

1. 若沿着回路的绕行方向,各电压都假定为由正到负,如图 1-13(a) 所示,则 KVL 表示为

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0 \quad (1-4a)$$

2. 若沿着回路的绕行方向,各电压都假定为由负到正,如图 1-13(b) 所示,则 KVL 表

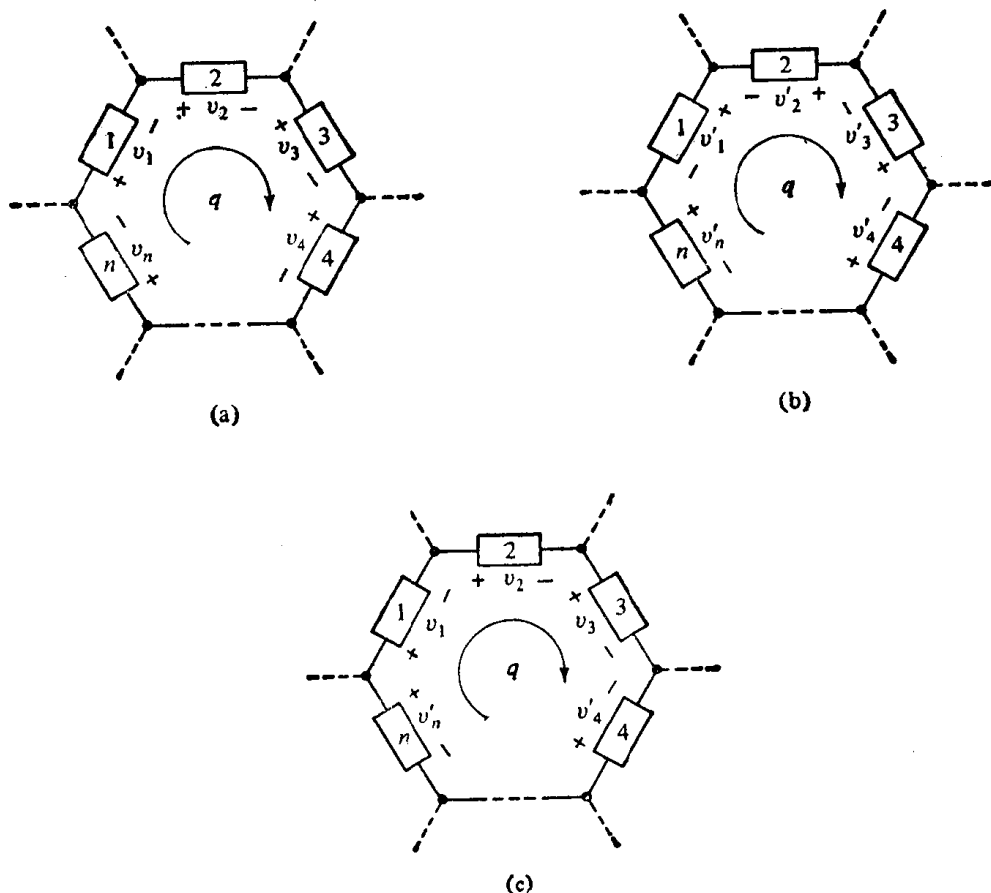


图 1-13

示为

$$\sum_{j=1}^n v'_j = 0 \quad (1-4b)$$

3. 若沿着回路的绕行方向, 某些电压假定为由正到负, 而其余的电压假定为由负到正, 则 KVL 表示为

$$\sum_{j=1}^k v_j - \sum_{j=k+1}^n v'_j \text{ 或者 } \sum_{j=1}^k v_j - \sum_{j=k+1}^n v'_j = 0 \quad (1-4c)$$

式(1-4c)中, k 个电压假定为由正到负, 而 $(n-k)$ 个电压假定为由负到正。

因为 $v_j = -v'_j$, 所以式(1-4)所给出的 KVL 的三种形式都是等效的。这个定律也适用于回路绕行方向取为反时针方向。应该强调指出, KVL 适用于电路的所有回路和所有时刻。回路中各个电压的数值可以随着时间变化, 但它们的和总是受式(1-4)支配的。

KVL 的叙述中包含着这样的意思: 电压出现在元件的两端(图 1-12 和 1-13 中将这此元件画为盒子), 而连接元件的导线电压为零。换句话说, 电路图中电压是集中在元件上而不是在连接它们的导线上。但是当这些导线两端的电压不能忽略时, 导线本身就可以作为元件考虑了。它们两端存在着电压。

我们经常要用到 KVL 的另一种形式: 电路中任意两个节点之间各电压之和与选取的路径无关。(如果不是这样, 那末沿着路径所构成的回路各电压之和就不为零。)例如, 研究图 1-14(a) 中所示的一部分电路。回路 k 中有四个元件, 因而有四个电压和回路 k 关联。当回路绕行方向取为顺时针方向时, 两个电压 v_1 和 v_2 以负到正的方向出现; 另外两个电压 v_3 和 v_4 以正到负的方向出现。因此根据 KVL 的一种形式——式(1-4c), 有

同一方向各电压之和 = 另一方向各电压之和

$$v_1 + v_2 = v_3 + v_4$$

如果回路 l 的绕行方向取为顺时针方向, 就得到

$$v_3 + v_4 = v_5$$

另外, 如果元件 1, 2 和 5 所组成的回路的绕行方向取为顺时针方向(图中未用箭头表示), 则 KVL 给出

$$v_1 + v_2 = v_5$$

于是我们看到

$$v_1 + v_2 = v_3 + v_4 = v_5 = v_{mn}$$

这里引入 v_{mn} 表示节点 m 和 n 之间的电压。事实上, 如果认为元件 5 是一个伏特表, 则可以读出 v_{mn} 。因此不考虑从 m 到 n 所选取的路径, 我们总是得到相同的电压 v_{mn} 。它表示在图 1-14(b) 中, 其极性是 m 为正号, n 为负号。习惯上, 第一个下标认为是正的, 而第二个下标认为是负的。因此 $v_{nm} = -v_{mn}$ 。

我们从图 1-14(b) 中看到, 沿着左边的路径从 m 到 n , v_{mn} (正到负) 等于 v_1 (正到负) 加上 v_2 (正到负), 或者沿着右边的路径从 m 到 n , v_{mn} (正到负) 等于 v_3 (正到负) 加上 v_4 (正到负)。换句话说, 沿着 m 到 n 的任何路径, 按照正到负的方向将各电压相加都得到同方向的电压 v_{mn} 。然而必须强调指出, 我们可以沿着一条路径或者一个回路任意